

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU ⁽¹¹⁾ **2 542 633** ⁽¹³⁾ C1

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
(51) МПК
[G01B 11/02 \(2006.01\)](#)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: прекратил действие, но может быть восстановлен (последнее изменение статуса:
07.06.2017)
Пошлина: учтена за 3 год с 11.09.2015 по 10.09.2016

(21)(22) Заявка: [2013141704/28](#), 10.09.2013(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
10.09.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 10.09.2013

(45) Опубликовано: [20.02.2015](#) Бюл. № 5(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: SU 1469344 A1, 29.06.1987. SU
1442820 A1, 07.12.1988. RU 2369835 C1,
10.10.2009. EP 1498690 B2, 01.08.2012

Адрес для переписки:

620000, г.Екатеринбург, пр. Ленина, 51,
Уральский федеральный университет

(72) Автор(ы):

Шлычков Владимир Иванович (RU),
Кислицын Александр Устинович (RU),
Макаров Кирилл Владимирович (RU),
Кунавин Павел Евгеньевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

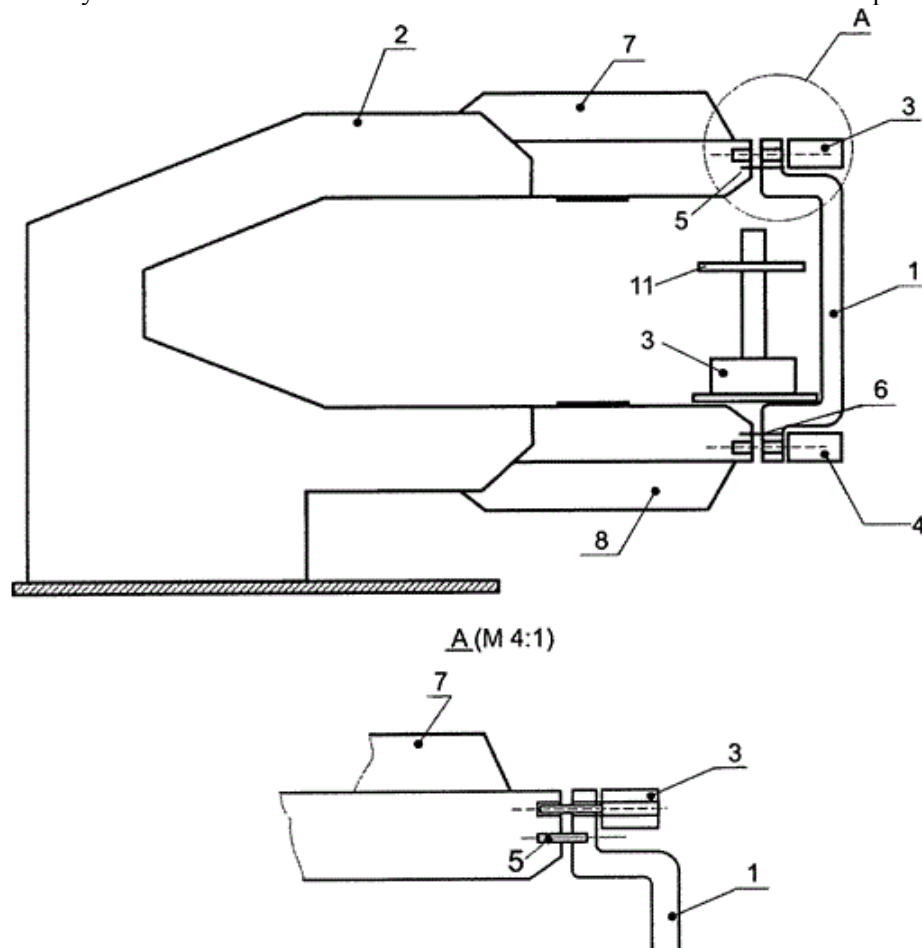
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н.
Ельцина" (RU),
Общество с ограниченной
ответственностью Научно-
производственное предприятие "Микрон"
(RU)

(54) ЛАЗЕРНЫЙ ТОЛЩИНОМЕР И СПОСОБ ЕГО КАЛИБРОВКИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительной технике, а именно к калибровке лазерных толщиномеров, построенных по методу лазерной триангуляции, при котором пучки излучения направлены с двух сторон перпендикулярно к контролируемой поверхности, а принятый оптический сигнал фиксируется многоэлементным приемником. Лазерный толщиномер дополнительно снабжен калибровочным приспособлением. Калибровочное приспособление жестко зафиксировано штифтованным винтовым соединением на корпусе толщиномера, обеспечивающим перпендикулярность пучков лазерного излучения к плоскости положения эталона, и содержит плату управления, линейный шаговый двигатель для перемещения эталона t_{et} , зафиксированного в зоне измерения на общем основании с фотоэлектрическими модулями. При калибровке эталон - t_{et} дискретно перемещают к другой границе зоны измерения и для каждого положения эталона t_{et} измеряют расстояния R_{1i} , R_{2i} от фотоэлектрических модулей до каждой стороны эталона t_{et} . Определяют соответствующие этим расстояниям номера элементов n_{1i} , n_{2i} на многоэлементных фотоприемниках, а затем определяют угловые коэффициенты k_1 , k_2 и смещения b_1 , b_2 , калибровочных прямых для каждого фотоэлектрического модуля, применяя метод наименьших квадратов. Технический результат - повышение точности измерения при

воздействии вибрации, изменении температуры окружающей среды, волнистости и изогнутости объектов. 2 н. и 2 з.п. ф-лы, 5 ил.



Фиг. 1

Изобретение относится к измерительной технике и, в частности, может быть использовано для калибровки лазерных толщиномеров, построенных по методу лазерной триангуляции, при котором пучки излучения направлены с двух сторон перпендикулярно к контролируемой поверхности, а принятый оптический сигнал фиксируется многоэлементным приемником.

Известно устройство для калибровки лазерных триангуляционных измерителей (Свидетельство на полезную модель RU №37550, МПК G01B 11/00, опубл. 27.04.2004), содержащее источник лазерного излучения, приемное устройство, сменный экран, снабженный средствами для перемещения в направлении лазерного луча.

Недостатком данного устройства для калибровки является отсутствие механизмов, деталей и узлов, которые обеспечивают многократную смену технологического экрана на объект контроля, при сохранении требуемой погрешности измерения. Контроль второй стороны объекта контроля не рассматривается.

Прототипом является устройство для измерения толщины - лазерный толщиномер (патент RU №2419068, МПК G01B 11/06, опубл. 20.01.2011), содержащее корпус, зону измерения, привод, обеспечивающий перемещение объекта контроля в зоне измерения, размещенные по разные стороны, оптически связанные с контролируемым объектом фотоэлектрические модули, жестко зафиксированные на общем основании и расположенные соосно и перпендикулярно плоскости перемещения контролируемого объекта, многоэлементные фотоприемники, входящие в состав фотоэлектрических модулей, оптически связанные с контролируемым объектом, блок обработки и управления, входы которого соединены со выходом фотоприемников, содержащий задатчик режимов работы, обеспечивающий выбор режима измерения толщины или режима калибровки толщиномера, вычислитель результатов измерений и цифровое табло.

Для калибровки толщиномера его корпус сдвигают по направляющим в горизонтальном направлении из зоны измерения в зону калибровки. Технологическое приспособление для калибровки, имитирующее положение объекта контроля, винтами соединяют с корпусом толщиномера последовательно устанавливают эталоны толщины t_{et} и через задатчик вводят значения максимальной, а затем

минимальной толщины эталонов в вычислитель, который рассчитывает угловой коэффициент - k и смещение - b калибровочной прямой $t = k\bar{\Sigma} + b$.

Недостатком прототипа является то, что технологическое приспособление позволяет производить калибровку, а в последующем измерение толщины эталонов t_{\max} , t_{\min} только для положения размещения эталонов, которое соответствует нижней границе зоны измерения, что приводит к увеличению погрешности измерения для случая произвольного положения в зоне измерения объекта контроля.

В настоящее время при калибровке лазерных триангуляционных устройств сопоставляются расстояния до контролируемого объекта - R_i и номер элемента - n_i на ПЗС - линейке, оптически связанной с объектом контроля (Anand Asundi «Unified calibration technique and its applications in optical triangular profilometry» Applied Optics, 1999, №16, том 38, с.3556-3561).

Следует отметить, что полученные значения величин (R_i , n_i) не учитывают шероховатость контролируемого объекта, изменение размеров световой метки в зависимости от изменения расстояния - R_i до объекта контроля, что отражается на размерах и форме видеоимпульса, сформированного ПЗС-линейкой и, следовательно, номере измеренного элемента - n_i .

Для повышения точности измерений на калибровочном стенде (А.З. Венедиктов, О.В. Пальчик. «Проблема калибровки лазерных триангуляционных измерителей». Технология машиностроения. 2005 г., №8, с.57-59) задают расстояния R_i до эталона с типичным для измеряемых объектов коэффициентом отражения ρ и при каждом измерении расстояния R_i учитывают, кроме номера элемента - n_i , размер световой метки Δn_i , где $\Delta n_i = n_{i+1} - n_{i-1}$, а n_{i+1} , n_{i-1} соответственно, последний и первый засвеченные элементы в принятом оптическом сигнале. При построении зависимости между номером засвеченного элемента и расстоянием R_i до контролируемого объекта номер элемента уточняется в зависимости от ширины видеоимпульса Δn_i . В таблице градуировки $R_i = f(n_i, \Delta n_i)$ промежуточные значения расстояний R_i интерполируются.

Следует отметить, что в предложенном способе калибровки оптический контроль второй стороны объекта контроля не рассматривается. Процесс калибровки носит двухпараметрический характер, что усложняет данный способ.

Наиболее близкий к предлагаемому является способ калибровки раскрыт в описании патента РФ №2419068 «Способ измерения толщины и устройство для его осуществления», МПК G01B 11/06, опубл. 20.01.2011.

Для реализации предложенного способа, предварительно, в режиме калибровки, измеряют координаты световых меток, соответствующие эталонам с максимальной толщиной - t_{\max} и минимальной - t_{\min} , и рассчитывают угловой коэффициент

$$k = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{\Sigma[t_{\max}] - \Sigma[t_{\min}]}, \text{ где } \Sigma[t_{\max}] \text{ и } \Sigma[t_{\min}] - \text{суммы номеров элементов на ПЗС-}$$

линейке, соответствующих конечной n_{i+1} и начальной n_{i-1} границам видеоимпульсов с фотоприемников для эталонов толщин с t_{\max} и t_{\min} . а $\Sigma[t_{\max}] = \Sigma_1 + \Sigma_2$, (аналогично, $\Sigma[t_{\min}]$) где $\Sigma_1 = N_1 + N_2$ - сумма номеров элементов, которые соответствуют начальной n_{i-1} и конечной n_{i+1} границам видеоимпульса, полученного при считывании видеосигнала от верхней поверхности эталона, аналогично $\Sigma_2 = N_3 + N_4$ - сумма номеров элементов, которые соответствуют начальной и конечной границам видеоимпульса, полученного при считывании видеосигнала от нижней поверхности эталона, а толщину установленного эталона t_{et} определяют как $t_{et} = k\bar{\Sigma} + b$, где

$$b = t_{\max} - k\Sigma[t_{\max}] = t_{\min} - k\Sigma[t_{\min}], \text{ это смещение калибровочной прямой, а } \bar{\Sigma} -$$

статистическая по результатам серии замеров оценка суммы $\Sigma = \Sigma_1 + \Sigma_2$. Статистическая оценка состоит, например, в отбрасывании некоторого количества максимальных и минимальных замеров и усреднении оставшихся.

Недостаток данного способа калибровки по эталонам, соответствующим максимальной и минимальной толщине t_{\max} и t_{\min} динамического диапазона измерений, состоит в последовательной установке эталонов на технологическое приспособление, опорная плоскость которого соответствует одной из границ зоны измерения, как правило, - это нижняя граница, и проведении вышеперечисленной последовательности операций только для этого случая. На практике измерения производятся при произвольном положении контролируемых объектов в зоне измерения и, следовательно, при произвольной ширине и положении видеоимпульсов,

сформированных оптически связанными с контролируемой поверхностью ПЗС-линейками. Проведенные измерения показали увеличение погрешности измерений, если объект контроля находится в произвольном положении в зоне измерения, отличающейся от положения эталонов при калибровке.

Задачей изобретения является создание лазерного толщиномера и способа его калибровки, позволяющих повысить точность измерения при произвольном положении объекта контроля в зоне измерения и при воздействии таких дестабилизирующих факторов производственного процесса, как вибрация, изменение температуры окружающей среды, волнистость и изогнутость объектов контроля.

Поставленная задача достигается за счет того, что лазерный толщиномер, содержащий корпус, зону измерения, привод, обеспечивающий перемещение объекта контроля в зоне измерения, размещенные по разные стороны, оптически связанные с контролируемым объектом фотоэлектрические модули, жестко зафиксированные на общем основании и расположенные соосно и перпендикулярно плоскости перемещения контролируемого объекта, многоэлементные фотоприемники, входящие в состав фотоэлектрических модулей, оптически связанные с контролируемым объектом, блок обработки и управления, входы которого соединены с выходам фотоприемников, содержащий задатчик режимов работы, обеспечивающий выбор режима измерения толщины или режима калибровки толщиномера, вычислитель результатов измерений и цифровое табло, дополнительно снабжен калибровочным приспособлением жестко зафиксированным штифтовым винтовым соединением на корпусе толщиномера, обеспечивающим перпендикулярность пучков лазерного излучения к плоскости положения эталона, содержащим плату управления, линейный шаговый двигатель и электромеханический привод для перемещения эталона t_{et} , зафиксированный в зоне измерения на общем основании с фотоэлектрическими модулями, при этом электромеханический привод соединен с первым выходом вычислителя по интерфейсной линии связи через плату управления и линейный шаговый двигатель, а фотоприемники соединены по интерфейсным линиям связи от микроконтроллеров фотоэлектрических модулей через второй и третий выходы с одноименными входами вычислителя.

Отличительным признаком предлагаемого лазерного толщиномера является наличие электромеханического привода для перемещения эталона - t_{et} , жестко зафиксированного на общем основании с фотоэлектрическими модулями в зоне измерения толщиномера.

Поставленная задача достигается также за счет того, что в способе калибровки лазерного толщиномера, заключающемся в том, что предварительно в режиме калибровки толщиномера, включающего два фотоэлектрических модуля, формируют два узких пучка излучения, направленных соосно навстречу друг другу, которые создают на противоположных сторонах эталона - t_{et} световые метки, а на двух линейных оптически связанных с эталоном позиционно-чувствительных многоэлементных фотоприемниках, входящих в состав фотоэлектрических модулей изображения световых меток, фотоприемники одновременно сканируют и измеряют номера элементов, соответствующих максимальному и минимальному значению толщины эталонов, на границе зоны измерения размещают эталон толщины - t_{et} , который дискретно перемещают к другой границе, и для каждого положения эталона t_{et} измеряют расстояния R_{1i} , R_{2j} от фотоэлектрических модулей до каждой стороны эталона t_{et} и соответствующие этим расстояниям номера элементов n_{1i} , n_{2i} , на многоэлементных фотоприемниках, а затем определяют угловые коэффициенты k_1 , k_2 и смещения b_1 , b_2 калибровочных прямых для каждого фотоэлектрического модуля.

Кроме того, коэффициенты k_1 , k_2 , b_1 , b_2 можно определить, применяя метод наименьших квадратов:

$$k_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (n_{1i} - \bar{n}_1) (R_{1i} - \bar{R}_1)}{\sum_{i=1}^N (n_{1i} - \bar{n}_1)^2} \quad k_2 = \frac{\sum_{i=1}^N (n_{2i} - \bar{n}_2) (R_{2i} - \bar{R}_2)}{\sum_{i=1}^N (n_{2i} - \bar{n}_2)^2}$$

где: N - число замеров при снятии градуировочных характеристик, n_{1i} , n_{2i} - номера элементов на многоэлементных приемниках при замерах,

R_{1i} , R_{2i} - расстояния по градуировочным характеристикам при замерах,

$$\bar{n}_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n_{1i}, \quad \bar{n}_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n_{2i},$$

$$b_1 = \bar{R}_1 - k_1 \bar{n}_1, \quad b_2 = \bar{R}_2 - k_2 \bar{n}_2$$

а калибровку базы толщиномера R_0 выполнять в соответствии с соотношением

$$R_0 = \frac{1}{LM} \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M R_0(i, m),$$

где L - число шагов при калибровке в зоне измерения,

i - текущий шаг,

M - число эталонов толщины t при калибровке,

m - текущий эталон t_m ,

$R_0(i, m) = R_{1i} + R_{2i} + t_m$,

где: $R_{1i} = k_1 n_{1i} + b_1$ и $R_{2i} = k_2 n_{2i} + b_2$ - текущие расстояния от фотоэлектрических модулей до каждой стороны эталона с толщиной t_m , а также использовать эталон, состоящий из W секторов различной толщины.

Предлагаемые изобретения поясняются чертежами, на которых изображены:

фиг.1 - лазерный толщиномер для режима работы «Калибровка» с установленным калибровочным устройством,

фиг.2 - функциональная схема лазерного толщиномера для режима работы «Калибровка»,

фиг.3 - алгоритм калибровки лазерного толщиномера,

фиг.4 - алгоритм калибровки фотоэлектрического модуля,

фиг.5 - алгоритм калибровки базы толщиномера.

Для удобства изложения приводится пример выполнения устройства, а затем последовательность операций для предлагаемого способа калибровки.

Лазерный толщиномер (фиг.1) содержит калибровочное приспособление 1, жестко закрепленное на корпусе 2 толщиномера с помощью соединения, включающего винты 3, 4 и штифты 5, 6. Соединение калибровочного приспособления 1 с корпусом фотоэлектрических модулей 7, 8, жестко зафиксированных на корпусе 2 толщиномера, обеспечивает однозначность установки при многократных повторениях операций по калибровке с последующим переходом в режим измерения.

Калибровочное приспособление 1 содержит (фиг.2) плату управления 9, линейный шаговый двигатель (актуатор) 10, на валу 11 которого размещается эталон толщины 12. Плата управления 9 предназначена для формирования управляющих сигналов для актуатора 10.

Фотоэлектрические модули 7 и 8 содержат лазерные излучатели 13, 14 с формирующей оптикой 15, 16 и приемные каналы в составе: ПЗС-линейки, 17, 18, приемные объективы 19, 20 и поворотные зеркала 21, 22.

Полупроводниковые излучатели 13, 14 с формирующей оптикой 15, 16 формируют световые метки O_1 и O_2 , соответственно, на верхней и нижней сторонах эталона 12. Индикатрисы рассеяния в этих точках схематически показаны на фиг.2. Для тестовых оптических сигналов от эталона с толщиной - t_{et} приемными каналами в составе объективов 19, 20, поворотных зеркал 21 и 22 изображение световых меток строится на ПЗС-линейках 17 и 18 в точках O_1' и O_2' .

Микроконтроллеры 26 и 27 предназначены для определения номера элемента, соответствующего максимуму видеосигнала при приеме световых меток и формировании управляющих сигналов для ПЗС-линейек.

Кроме того, в корпусе 2 толщиномера находятся: вычислитель 23, клавиатура 24, индикатор 25.

Вычислитель 23 предназначен для расчета калибровочных коэффициентов k_1 , k_2 , смещений b_1 , b_2 и расстояний от фотоэлектрических модулей до первой $R_{1i} = k_1 n_{1i} + b_1$ и второй $R_{2i} = k_2 n_{2i} + b_2$ сторон объекта контроля.

Клавиатура 24 предназначена для задания режимов работы толщиномера: калибровка, измерение толщины. Индикатор 25 для отображения результатов вычислений, констант.

Первые входы-выходы платы управления 9 и вычислителя 23 соединены интерфейсной линией связи с протоколом обмена, например по RS-232, для передачи команд от вычислителя 23 через плату управления 9 на линейный шаговый двигатель 10 для установки эталона 12 в зоне измерения Δ в требуемое положение.

Для передачи номера элемента ПЗС-линейки, соответствующего максимуму видеосигнала, вторые и третьи входы-выходы вычислителя 23 соединены интерфейсными линиями связи с одноименными входами-выходами, соответственно, микроконтроллеров 26 и 27.

Работа устройства для калибровки начинается по команде с клавиатуры 24. В соответствии с протоколом обмена от вычислителя 23 по линии связи на 1 вход платы управления 9 поступает команда на установку эталона 12 на границе зоны измерения, например нижней 28. Полупроводниковые излучатели 13, 14 с формирующей оптикой 15 и 16 формируют световые метки O_1 и O_2 соответственно, на верхней и нижней сторонах эталона 12 с толщиной - t_{et} . По управляющим сигналам с 4 выхода микроконтроллеров 26 и 27 на 5 входы ПЗС-линеек 17, 18 подаются сигналы управления и выполняется сканирование. Номера элементов n_{1i} , n_{2i} , в считанных видеосигналах и соответствующие максимумам видеосигналов, полученных при приеме от световых меток O_1 и O_2 на эталоне толщиной - t_{et} передаются через последовательно соединенные выходы ПЗС-линеек 17, 18 усилители 31 микроконтроллеры 26, 27 по интерфейсной линии связи через 2 и 3 входы-выходы в вычислитель 23, для расчета калибровочных коэффициентов k_1 , k_2 , смещений b_1 , b_2 , текущих расстояний от фотоэлектрических модулей до первой $R_{1i}=k_1n_{1i}+b_1$ и второй $R_{2i}=k_2n_{2i}+b_2$ стороны эталона толщины. Для определения базы толщиномер R_0 в соответствии с соотношением $R_0=R_{1i}+R_{2i}+t_m$, где R_{1i} , R_{2i} , - расстояния от модулей до эталона, t_m - толщина эталона используется эталон с секторами, отличающихся по толщине, и который устанавливается для калибровки базы поворотами вокруг оси вала 11, механически связанного с двигателем 10 для измерения базы R_0 в i -секторе.

Способ калибровки с помощью вышеописанного устройства выполняется в следующей последовательности: используя штифтованные резьбовые соединения 3, 4 (фиг.1), калибровочное устройство 1 соединяют с толщиномером.

На клавиатуре 24 инициализируется режим калибровки толщиномер (фиг.3). В соответствии с протоколом обмена, по интерфейсной линии связи (фиг.2) между первыми входами-выходами вычислителя 23 и платы управления 9 эталон 12 устанавливается в положение 28, на границе зоны измерения, и по командам вычислителя 23 эталон 12 смещается с шагом - δ к другой 29 границе зоны измерения. Каждый i шаг эталона соответствует предварительно аттестованному расстоянию от фотоэлектрического модуля 7 R_{1i} до одной из сторон эталона и фотоэлектрического модуля 8 до второй стороны эталона R_{2i} . Алгоритм калибровки фотоэлектрических модулей приведен на фиг.4. На каждом шаге расположенные в фотоэлектрических модулях 7 и 8 микроконтроллеры 26, 27 определяют номера элементов, соответствующие максимуму видеосигнала (n_{1i}), (n_{2i}). Для повышения достоверности результатов количество замеров при определении номеров элементов для каждого положения эталона в зоне измерения повторяется N раз. После окончания перемещения эталона до границы зоны измерения 29 градуировочные характеристики первого (R_{1i} , n_{1i}) фотоэлектрического модуля, а затем второго (R_{2i} , n_{2i}) запоминаются вычислительным устройством 23 и используются для расчетов коэффициентов k_1 , b_1 , k_2 , b_2 , и текущих расстояний до первой $R_{1i}=k_1n_{1i}+b_1$ и второй $R_{2i}=k_2n_{2i}+b_2$ стороны эталонов или контролируемых объектов. Алгоритмы калибровки фотоэлектрических модулей (фиг.3) выполняются перед калибровкой базы толщиномер.

Алгоритм калибровки базы толщиномер R_0 - расстояние между фотоэлектрическими модулями, которое используется при вычислении толщины как $t=R_0-R_{1i}-R_{2i}$, приведен на фиг.5.

Для калибровки базы толщиномер R_0 используется эталон, который состоит из m секторов различной толщины. Для измерения R_0 устанавливается сектор эталона t_m с минимальной толщиной, который последовательно занимает L положений в зоне измерения $\Delta=R_{max}-R_{min}$. Для дальнейшей калибровки R_0 базы эталон разворачивается и устанавливается сектор с толщиной t_{m+1} . По окончании L -циклов измерений по смещению эталона в зоне измерения Δ и M циклов измерений по толщинам, имеющихся эталонов база толщиномер, рассчитывается как

$$R_0 = \frac{1}{LM} \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M R(i, m)$$

Использование вышеизложенных изобретений позволит повысить точность измерений толщины в произвольной точке зоны измерения, так как измеряются текущие расстояния R_{1i} и R_{2i} до каждой стороны объекта контроля, кроме того, контролируется база толщиномера R_0 , что позволяет компенсировать механические и температурные воздействия на толщиномер.

Формула изобретения

1. Лазерный толщиномер, содержащий корпус, зону измерения, привод, обеспечивающий перемещение объекта контроля в зоне измерения, размещенные по разные стороны, оптически связанные с контролируемым объектом фотоэлектрические модули, жестко зафиксированные на общем основании и расположенные соосно и перпендикулярно плоскости перемещения контролируемого объекта, многоэлементные фотоприемники, входящие в состав фотоэлектрических модулей, оптически связанные с контролируемым объектом, блок обработки и управления, входы которого соединены с выходами фотоприемников, содержащий задатчик режимов работы, обеспечивающий выбор режима измерения толщины или режима калибровки толщиномера, вычислитель результатов измерений и цифровое табло, отличающийся тем, что он дополнительно снабжен калибровочным приспособлением, зафиксированным на корпусе толщиномера, обеспечивающим перпендикулярность пучков лазерного излучения к плоскости положения эталона, содержащим плату управления, линейный шаговый двигатель и электромеханический привод для перемещения эталона t_{et} , жестко зафиксированный в зоне измерения на общем основании с фотоэлектрическими модулями, при этом электромеханический привод соединен с первым выходом вычислителя по интерфейсной линии связи через плату управления и линейный шаговый двигатель, а фотоприемники соединены по интерфейсным линиям связи от микроконтроллеров фотоэлектрических модулей через второй и третий выходы с одноименными входами вычислителя.

2. Способ калибровки лазерного толщиномера, заключающийся в том, что предварительно в режиме калибровки толщиномера, включающего два фотоэлектрических модуля, формируют два узких пучка излучения, направленных соосно навстречу друг другу, которые создают на противоположных сторонах эталона - t_{et} световые метки, а на двух линейных оптически связанных с эталоном позиционно-чувствительных многоэлементных фотоприемниках, входящих в состав фотоэлектрических модулей изображения световых меток, фотоприемники одновременно сканируют и измеряют номера элементов, соответствующих максимальному и минимальному значению толщины эталонов, отличающийся тем, что на границе зоны измерения размещают эталон толщины - t_{et} , который дискретно перемещают к другой границе и для каждого положения эталона t_{et} измеряют расстояния R_{1i} , R_{2i} от фотоэлектрических модулей до каждой стороны эталона t_{et} и соответствующие этим расстояниям номера элементов n_{1i} , n_{2i} на многоэлементных фотоприемниках, а затем определяют угловые коэффициенты k_1 , k_2 и смещения b_1 , b_2 , калибровочных прямых для каждого фотоэлектрического модуля.

3. Способ по п.2, отличающийся тем, что коэффициенты: k_1 , k_2 , b_1 , b_2 определяют, применяя метод наименьших квадратов:

$$k_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (n_{1i} - \bar{n}_1)(R_{1i} - \bar{R}_1)}{\sum_{i=1}^N (n_{1i} - \bar{n}_1)^2} \quad k_2 = \frac{\sum_{i=1}^N (n_{2i} - \bar{n}_2)(R_{2i} - \bar{R}_2)}{\sum_{i=1}^N (n_{2i} - \bar{n}_2)^2}$$

где N - число замеров при снятии градуировочных характеристик,
 n_{1i} , n_{2i} - номера элементов на многоэлементных приемниках при замерах,
 R_{1i} , R_{2i} - расстояния по градуировочным характеристикам при замерах,

$$\bar{n}_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n_{1i}, \quad \bar{n}_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n_{2i},$$

$$b_1 = \bar{R}_1 - k_1 \bar{n}_1, \quad b_2 = \bar{R}_2 - k_2 \bar{n}_2,$$

а калибровку базы толщиномера R_0 выполняют в соответствии с соотношением

$$R_0 = \frac{1}{LM} \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M R_0(i, m),$$

где L - число шагов при калибровке в зоне измерения,

i - текущий шаг,

M - число эталонов толщины t при калибровке,

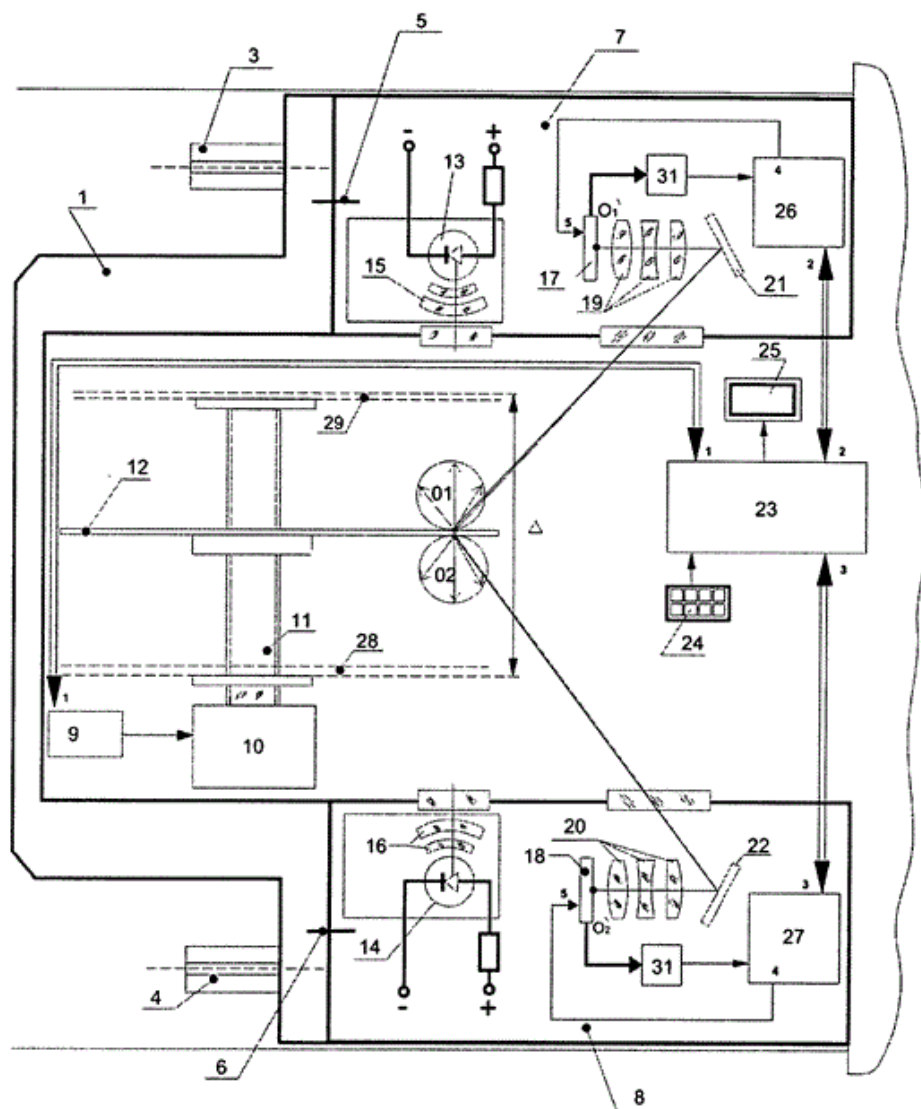
m - текущий эталон t_m ,

$$R_0(i, m) = R_{1i} + R_{2i} + t_m,$$

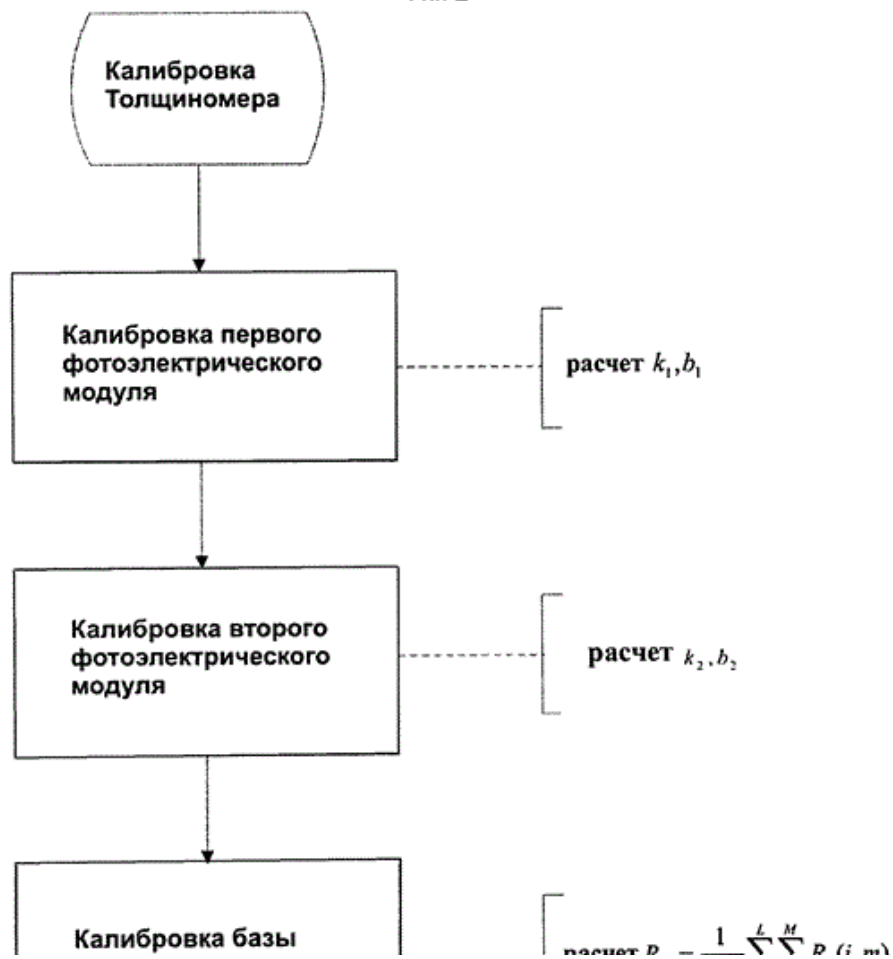
где

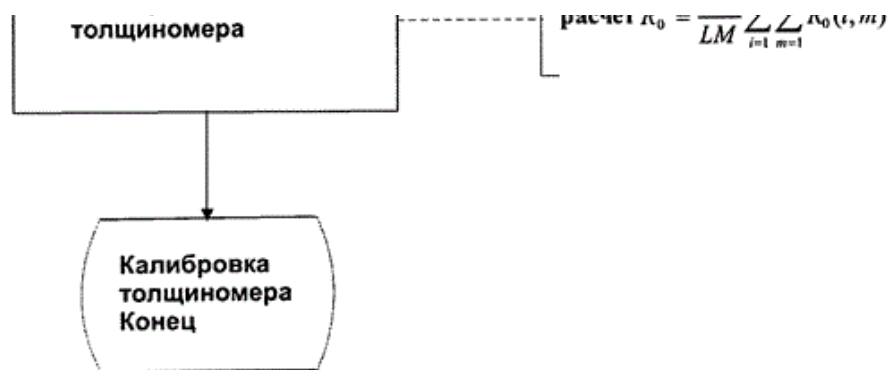
$R_{1i} = k_1 n_{1i} + b_1$ и $R_{2i} = k_2 n_{2i} + b_2$ текущие расстояния от фотоэлектрических модулей до каждой стороны эталона с толщиной t_m .

4. Способ по п.3, отличающийся тем, что используют эталон, состоящий из m секторов различной толщины.

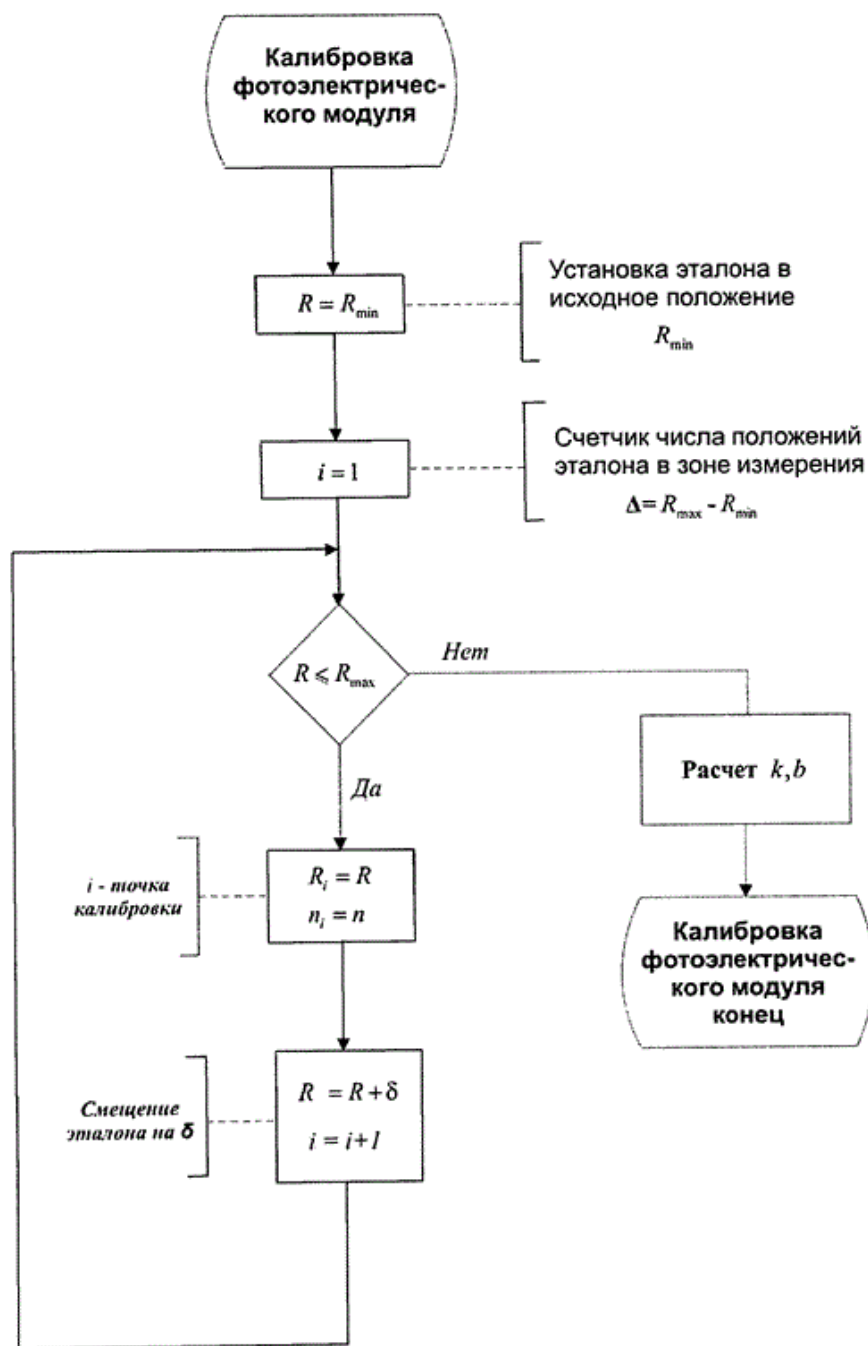


Фиг. 2

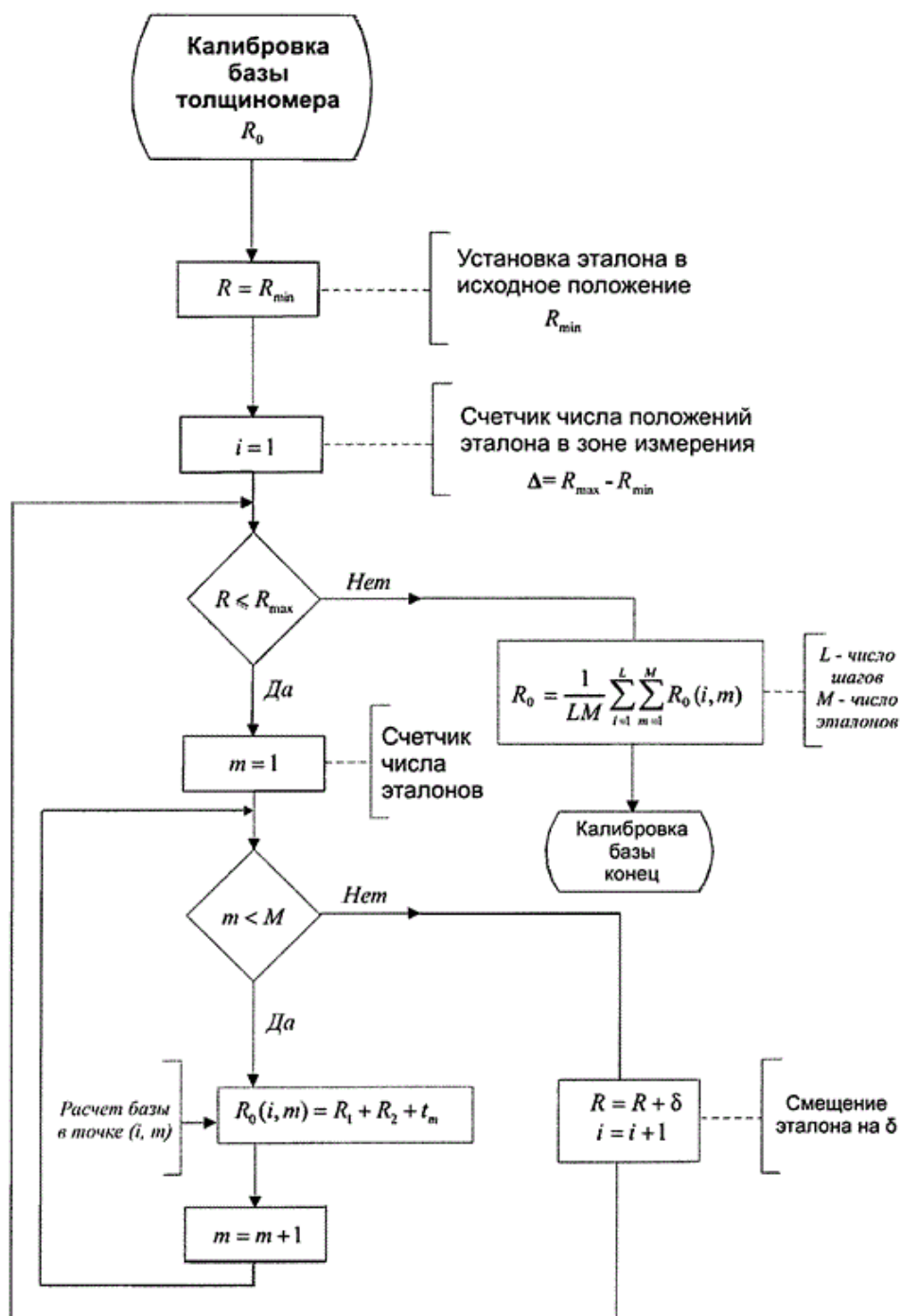




Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5

ИЗВЕЩЕНИЯ

ММ4А Досрочное прекращение действия патента из-за неуплаты в установленный срок пошлины за поддержание патента в силе

Дата прекращения действия патента: **11.09.2016**

Дата внесения записи в Государственный реестр: **30.05.2017**

Дата публикации: [30.05.2017](#)